

# Preparation of bio-artificial transplant

<b>Publication number:</b>	DE19828726 (A1)	<b>Also published as:</b>	
<b>Publication date:</b>	1999-01-07		JP2002507907 (T)
<b>Inventor(s):</b>	BADER AUGUSTINUS DR [DE]; HAVERICH AXEL PROF DR [DE]; STEINHOFF GUSTAV DR [DE] +		ES2175753 (T3) EP0989867 (A2)
<b>Applicant(s):</b>	BADER AUGUSTINUS DR [DE]; STEINHOFF GUSTAV PRIV DOZ DR [DE]; HAVERICH AXEL PROF DR [DE] +		EP0989867 (B1) WO9900152 (A2)
<b>Classification:</b>			more >>
- international:	A61L27/00; A61L27/36; A61L27/38; C12N15/09; C12N5/00; C12N5/08; (IPC1-7): A61L27/00; C12N5/08; C12N5/10		
- European:	A61L27/36; A61L27/38; C12N5/00S		
<b>Application number:</b>	DE19981028726 19980629		
<b>Priority number(s):</b>	DE19981028726 19980629; DE19971027497 19970627		

## Abstract of DE 19828726 (A1)

The preparation of a bioartificial transplant comprises: (a) providing a collagen matrix-containing allogenic or xenogenic tissue; (b) carefully removing all antigen-reactive cells from the collagen matrix and washing with sterile aqueous solution, and (c) seeding the matrix with autologous cells for the recipient or genetically modified cells suitable for the recipient to obtain a transplant. Also claimed is the transplant obtained by the method above.

\*\*\*\*\*  
Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide



21 Aktenzeichen: 198 28 726.7  
22 Anmeldetag: 29. 6. 98  
43 Offenlegungstag: 7. 1. 99

65 Innere Priorität:  
197 27 497. 8 27. 06. 97

71 Anmelder:  
Bader, Augustinus, Dr., 31275 Lehrte, DE; Steinhoff,  
Gustav, Priv.-Doz. Dr., 31303 Burgdorf, DE;  
Haverich, Axel, Prof. Dr., 30916 Isernhagen, DE

74 Vertreter:  
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

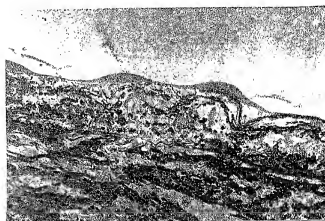
72 Erfinder:  
Bader, Augustinus, Dr., 31275 Lehrte, DE; Haverich,  
Axel, Prof. Dr., 30916 Isernhagen, DE; Steinhoff,  
Gustav, Dr., 31303 Burgdorf, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Bioartifizielles Transplantat und Verfahren zu seiner Herstellung

57 Es wird ein empfangerspezifisches Transplantat vorge-  
stellt, welches aus bereichsweise mit verschiedenen diffe-  
renzierten autologen oder gentechnisch veränderten qua-  
si-autologen besiedelten Zellen interstitiellem Bindegewe-  
be besteht. Zur Herstellung eines solchen Transplan-  
tats wird ein allogenes oder xenogenes Gewebe bzw. Ma-  
terial enzymatisch oder chemisch so behandelt, daß eine  
nicht-denaturierte praktisch zellfreie Collagen-Matrix mit  
aufgelockerter Struktur erhalten wird, die mit den jeweils  
gewünschten Zellen direkt möglichst vollständig wieder-  
besiedelt wird. Das so erhaltene Transplantat ist unmittel-  
bar einsetzbar.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines bioartifizialen Transplantats unter Verwendung einer zellfrei gemachten Bindegewebs-Matrix, die mit autologen Zellen des Transplantat-Empfängers oder mit gentechnisch modifizierten allogenen oder xenogenen Zellen besiedelt wurde. Ferner betrifft die Erfindung ein bioartifizielles empfängerspezifisches Transplantat, das nach dem genannten Verfahren erhältlich ist und aus Bereichsweise mit verschiedenen differenzierten autologen Zellen besiedeltem interstitiellem Bindegewebe besteht.

In der Transplantationstechnik wird heute die Transplantation von Haut, Gefäßen und Organen chirurgisch bereits gut beherrscht und ist weit verbreitet. Die Bereitstellung geeigneter Transplantate ist jedoch noch immer schwierig. Die Transplantate kann man nach ihrer Art in drei große Gruppen einteilen.

Zunächst gibt es Transplantate bzw. Implantate aus künstlichen Materialien, wie Kunststoffen, Metallen, Keramik, textilen Materialien usw. je nach Verwendung und dadurch sich ergebender Belastung.

Die synthetischen Implantate haben heute den Vorteil großer Haltbarkeit und sind besonders im orthopädischen Bereich durchgesetzt, da beispielsweise bei künstlichen Gelenken hohe Anforderungen an die Belastbarkeit des Materials gestellt werden. Künstliche Implantate haben jedoch vor allem den Nachteil, daß sie in keinem Falle mitwachsen und auch nicht wirklich einwachsen können. Durch letzteres entstehen häufig Probleme am Übergang vom künstlichen Implantat zu seiner natürlichen Umgebung.

Als zweites besteht die Möglichkeit, allogenes Material, z. B. Spenderorgane, oder u. U. auch xenogenes Material (tierischen Ursprungs) zu verwenden. Chemisch behandelte Transplantate tierischer Herkunft werden beispielsweise für den Herzklappenersatz beim Menschen verwendet. Das tierische Material wird dabei i. a. mit Glutaraldehyd behandelt, um die Strukturproteine zu stabilisieren und eine antigene Reaktion zu verhindern. Das mit Glutaraldehyd behandelte Gewebe unterliegt jedoch einer stetigen Verhärtung und fortschreitenden Kalzifizierung nach der Transplantation. Diese Transplantate müssen daher alle paar Jahre ersetzt werden. Bei der Verwendung allogener Materialien, wie z. B. Spenderorganen ist eine ständige für den Organismus des Empfängers belastende Immunsuppression notwendig. Dennoch kann es zu Abstoßungsreaktionen aufgrund verschiedener Prozesse im Körper kommen.

In manchen Fällen wird schließlich versucht, körpereigenes Gewebe für eine Transplantation an anderer Stelle zu verwenden. Diese Methode wird beispielsweise bei Bypass-Operationen angewendet, wobei eine Vene von einer anderen Körperstelle entnommen und im Herzbereich eingesetzt wird, um mangelnde Durchblutung dort auszugleichen.

Auch bei Hautverpflanzungen wird häufig eigene, an anderer Stelle entnommene Haut verwendet. Bei der Verpflanzung von Haut besteht das größte Problem darin, daß praktische nichts gewonnen wird, wenn die Hautfläche 1 : 1 verpflanzt wird, und daß demzufolge ein kleiner Hautbereich entnommen und anschließend expandiert werden muß. Diese Dehnung der entnommenen Haut ist jedoch für die Stabilität und Funktionalität der neu transplantierten Haut schädlich.

Es besteht daher ein großes Bedürfnis für Transplantat-Materialien oder fertig verwendbare Transplantate, die dem natürlichen Material soweit nachmodelliert sind, daß sie gut einwachsen, nach Möglichkeit zu keinen Abstoßungsreaktionen ("Host-Versus-Graft-reaction") führen, dadurch lange haltbar sind und vom Wirt wie körpereigenes Material auf-

gefaßt und im Rahmen des natürlichen Zellaustausches eingebaut werden, so daß möglichst sogar ein Mitwachsen der Transplantate im Körper des Empfängers ermöglicht wird.

Der Erfindung liegt daher die Problemstellung zugrunde, ein solches Transplantat und ein Verfahren zu seiner Herstellung zur Verfügung zu stellen.

Zur Lösung dieses Problems ist erfindungsgemäß ein Verfahren zur Herstellung eines bioartifizialen Transplantats für einen ausgewählten Empfänger vorgesehen, welches die folgenden Schritte umfaßt:

- a) Bereitstellung eines nativen, eine Collagen-Matrix enthaltenden allogenen oder xenogenen Gewebes bzw. Materials,
- b) Entfernung weitgehend aller antigen-reaktiver Zellen aus der Collagen-Matrix durch schonende Zellentfernung und anschließendes Spülen mit steriler wäßriger Lösung, wodurch eine chemisch nicht modifizierte, praktisch zellfrei gemachte, aufgelockerte Collagen-Matrix erhalten wird,
- c) direkte Weiterverarbeitung des zellfrei gemachten, durch die Behandlung unter b) aufgelockerten Materials durch möglichst vollständige Besiedlung mit den jeweils gewünschten, autologen Zellen des Empfängers oder mit genetisch modifizierten für den Empfänger angepaßten Zellen, wodurch ein unmittelbar einsetzbares Transplantat erhalten wird.

Aus der US-PS 5 336 616 ist bereits ein Verfahren zur Zubereitung eines Gewebes auf Collagen-Basis für die Transplantation bekannt, welches mit Hilfe der Schritte: chemische Vorbehandlung und Zellentfernung, Kryobehandlung, Trockenstabilisierung, Trocknung, Rehydrierung und Zellrekonstruktion ein bioartifizielles Transplantat mit folgenden Eigenschaften ermöglichen soll: a) es enthält eine extrazelluläre Protein- und Collagen-Matrix, die möglicherweise vom Wirt remodelliert und repariert werden kann, b) es stellt eine intakte Membran-Grundlage für die erfolgreiche Wiederbesiedlung mit lebensfähigen Endothel- oder Epithelzellen dar, c) es ruft primär keine Immunantwort beim Wirt hervor, d) es kalzifiziert nicht und e) es kann einfach bei Raumtemperatur gelagert und transportiert werden. Das bekannte Verfahren beruht auf dem Konzept, daß als Transplantat eine möglichst "immun-neutrale" Stützgewebs-Matrix gebildet werden soll, die dann vom Transplantations-Empfänger im Körper eingebaut und remodelliert werden kann. Zur Erleichterung dieses Vorgangs ist auch die Möglichkeit anschließender Besiedlung des nach dem Verfahren hergestellten Transplantates vorgesehen.

Um zu vermeiden, daß die Matrix vom Körper des Transplantat-Empfängers als fremd erkannt wird, ist eine Präparation mit bestimmten Schritten vorgesehen. Zunächst wird das entnommene biologische Grundmaterial in eine Stabilisierungslösung eingelegt, um Strukturschäden zu vermeiden. Diese Stabilisierungslösung kann Antioxidantien, Quellmittel, Antibiotika, Protease-Inhibitoren und auch Relaxantien für glatte Muskulatur enthalten. Dann wird das vorbehandelte Gewebe in eine Azellularisierungslösung eingelegt, die im allgemeinen einen geeigneten Puffer, Salz, ein Antibiotikum, ein oder mehrere Detergentien, ein oder mehrere Protease-Inhibitoren und ein oder mehrere Enzyme enthält. Die so erhaltene azelluläre Matrix könnte nun mit einem vernetzenden Mittel, wie Glutaraldehyd, fixiert und bis zur Transplantation gelagert werden. Ansonsten wird sie einer üblichen Kryobehandlung unterzogen. Im Laufe dieser Kryobehandlung kann das Produkt bereits steril verpackt werden. Das Gewebe wird dann bei niedriger Temperatur unter Vakuumbedingungen einer möglichst schonenden Ge-

friertrocknung unterzogen. Diese Gefriertrocknung erfolgt offenbar als zusätzliche Maßnahme zur Vermeidung von Rejektionen, da angeblich gefriergetrocknetes Material verglichen mit frischem oder cryokonserviertem Material weniger Rejektionen verursacht. Das Material soll dann vorzugsweise in diesem Zustand gelagert und transportiert werden. Vor einer Transplantation wird das Gewebe rehydriert. Die Rehydrierung kann in Salz- oder Ringier-Lösung erfolgen und ggf. Protease-Inhibitor(en) enthalten. Weitere Zusatzstoffe können enthalten sein, z. B. Diphosphonate zur Inhibierung alkalischer Phosphatase und Unterdrückung der Kalzifizierung, weiterhin Mittel zur Anregung der Neovaskularisierung und Wirtszellen-Infiltration nach der Transplantation, oder die Rehydrierung kann auch in einem Vernetzungsmittel wie Glutaraldehyd durchgeführt werden. Als zusätzliche Maßnahme ist schließlich die Besiedlung mit immunintoleranten lebensfähigen Zellen in vitro oder in vivo (nach der Transplantation) vorgesehen.

Das zentrale Konzept dieses bekannten Verfahrens besteht darin, eine azelluläre, quasi "neutrale" Matrix zu erhalten, die gut eingebaut wird und keine Rejektionen hervorruft. Die Betonung liegt dabei auf einer "Neutralisierung" der Matrix durch unter Umständen zahlreiche chemische Behandlungsschritte mit Enzymen, Detergentien, Antibiotika, Protease-Inhibitoren usw. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der guten Lager- und Transportfähigkeit, die durch die Cryokonservierung und Trocknung erreicht wird, wobei gleichzeitig eine weitere "Neutralisierung" der Matrix stattfinden soll.

Das bekannte Verfahren – und damit auch das danach erhaltene Transplantat – weist jedoch noch gravierende Nachteile auf. So hat es sich gezeigt, daß die polymere Collagenmatrix auch bei schonendem Einfrieren und Trocknen Strukturveränderungen unter Reduzierung der mechanischen Stabilität und Elastizität erleiden muß, da in vitro-Versuche zeigen, daß die Zellen bei einer Wiederbesiedlung auf einer vorher getrockneten oder cryobehandelten Collagen-Matrix wesentlich schlechter wieder einwachsen.

Die Möglichkeit einer Renaturalisierung des Transplantats im Empfängerkörper wird dadurch sehr behindert oder gegebenenfalls zunichte gemacht.

Ferner erscheint der Weg bedenklich, eine freiliegende "neutralisierte" Collagen-Matrix zu schaffen. Die Collagen-Matrix kann zwar in vitro mit zahlreichen Chemikalien behandelt werden, dies läßt sich jedoch im Körper des Empfängers nicht weiterführen. Eine Behandlung mit Glutaraldehyd wird zu den oben bei xenogenen Materialien schon beschriebenen Problemen zunehmender Verhärtung und evtl. doch zu einer Kalzifizierung führen. Ferner besteht die Gefahr, daß eine freiliegende Collagen-Matrix letztendlich doch durch endogene Collagenasen angegriffen wird, so daß es zu Abstoßungsreaktionen kommen kann. Bei freiliegender, unvollständig oder falsch besiedelter Collagen-Matrix kann es zu vermehrter Granulozyteneinwanderung und zu einer Thrombozyten-Adhäsion und Leukozyten-Einwanderung kommen, wodurch schließlich eine Entzündungsreaktion entsteht und das Transplantat strukturell und funktionell verändert wird.

Die Erfindung verfolgt demgegenüber ein neues Konzept. Großer Wert wird auch hier auf die vollständige Azellularisierung, d. h. die vollständige Entfernung antigen-reaktiver Zellen und anderer antigenen Gewebekomponenten aus der Zellmatrix gelegt. Die Collagen-Matrix wird dann jedoch nicht in weiteren Behandlungsschritten immunologisch "neutralisiert" oder in ihrer Struktur verändert.

Als Ausgangsmaterial dient bei der Erfindung ein allogenes oder xenogenes Material, das die Grundstruktur für das gewünschte Gewebe, Gefäß oder Organ zur Verfügung stel-

len soll. Im Einzelfall könnte hier auch ein autologes Material verwendet werden, das dem späteren Transplantat-Empfänger zuvor entnommen wurde. Erfindungsgemäß soll die Azellularisierung dieses Ausgangsmaterials ausschließlich durch schonende Zellenfernung und anschließendes, ggf. reichliches Spülen mit steriler wässriger Lösung erfolgen. Die schonende Zellenfernung kann entweder durch schonende enzymatische Zellverdauung, beispielsweise durch Einlegen des Gewebes bzw. Materials in Trypsin-Lösung, erfolgen oder alternativ mit Hilfe eines chemisch zellablösenden Mittels, vorzugsweise mit Hilfe eines ionenspezifischen Komplexbildners.

Im Falle der enzymatischen Zellablösung werden durch das Verdauungsenzym Bindungsstellen in der Verankerung der Zellen mit ihrer Umgebung gelöst. Dies geschieht vorzugsweise durch Einlegen des Gewebes bzw. Materials in Trypsin-Lösung. Dieser Trypsin-Lösung kann bei Bedarf EDTA, EGTA, Triton oder TNN zugesetzt sein. Durch Einstellen der Zeitdauer, während derer das Enzym auf das Gewebe einwirkt, wird das Maß der Abverdaung gesteuert und es wird vermieden, daß ein Angriff auf die Collagen-Matrix selbst erfolgt. Die Trypsinbehandlung bewirkt auch eine gute Auflockerung der zellfrei gemachten Matrix, so daß die Neubesiedlung erleichtert wird.

Alternativ wird ein chemisch zellablösendes Mittel verwendet, das auf beliebige andere chemische Weise die Zellen an ihrer Verankerung zur Collagen-Matrix löst. Vorzugsweise ist vorgesehen, daß ein ionenspezifischer Komplexbildner verwendet wird, der den Zellen essentielle Ionen entzieht und so eine Ablösung verursacht. Durch die Komplexbildung z. B. von Calciumionen wird die Bindung der Zellen untereinander und die Zell-Matrixbindung über Integrine aufgehoben.

Als ionenspezifischer Komplexbildner kann beispielsweise das calciumspezifische EGTA (Ethylen glykol-bis-(2-aminoethylether)-tetraessigsäure) eingesetzt werden. EGTA wird vorzugsweise kurzzeitig und hochkonzentriert eingesetzt. Auch andere Komplex- bzw. Chelatbildner, wie EDTA (Ethylen diamintetraessigsäure), Citrat oder Ethylen-diamin oder sonstige chemisch zellablösende und ablösende Mittel, die die Collagen-Proteinstruktur nicht angreifen, können verwendet werden. So bieten sich weiterhin an: BAPTA/AM (ein zellpermeabler Calcium-Chelator) DMSO, Gadolinium, Desferrioxamin, Desferriothionin, Hexadentat oder auch Aminocarboxylat.

Die vorgenannten Mittel können einzeln oder in Mischungen eingesetzt werden, sie können durch andere Zusätze ergänzt werden, wie z. B. durch Ionside, die die Ablösung der Zellen erleichtern können (z. B. TRITON®). Vorzugsweise ist das chemisch zellablösende Mittel frei von Enzymen, die bei längerer Einwirkung Collagen angreifen könnten, wie z. B. Trypsin. Durch die genannten Mittel werden die Zellen gleichzeitig abgetötet und abgelöst. Das Ablösen kann durch intensives Spülen oder eine entsprechende, die Zellen mechanisch abscherende Behandlung unterstützt werden.

Ein Vorteil der chemisch-mechanischen Behandlung liegt darin, daß der Behandlungsschritt, in dem die Collagen-Matrix zellfrei gemacht wird, nur deutlich weniger Zeit in Anspruch zu nehmen braucht als bei einer Behandlung mit Trypsin. Hierdurch sinkt erstens die Gefahr, daß die Collagen-Matrix selbst angegriffen wird, und zweitens bleibt die Tertiärstruktur besser erhalten, wenn das Substrat nicht zu lange in Lösung gequollen wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß durch den Einsatz "harter Chemikalien" Probleme durch u. U. kontaminierte Enzyme tierischen Ursprungs vermieden werden können. Ein weiterer Vorteil liegt schließlich darin, daß die Basalmembran intakt bleibt. Die

Basalmembran stellt das direkte und gewebespezifische Adhäsionssubstrat für die Endothelzellen dar. Der Glycosilierungsgrad der Matrixproteine beeinflusst auch die Zellmigration und somit ein späteres Einwachsen von Zellen. Die natürliche Form des Collagengerüsts in ihrer dreidimensionalen Verbindung mit anderen Matrixkomponenten und Integrinen kann daher durch die Erfindung erhalten werden.

Auf die beschriebene Weise wird eine aufgelockerte, jedoch in ihrer Sekundär- und Tertiärstruktur dem nativen polymerisierten Collagen noch weitgehend entsprechende Collagenstruktur erhalten, die für das Einwachsen neuer Zellen, nämlich autologer Zellen des Empfängers oder, falls dies im Einzelfall möglich ist, anderer immunotoleranter Zellen bestens vorbereitet ist.

Die zellfrei gemachte, aufgelockerte Matrix wird daher allenfalls kurz zwischengelagert oder sterilisiert (beispielsweise radioaktiv mit UV oder Protonen bestrahlt, oder mit Ethylenoxid begast), jedoch nicht chemisch weiterbehandelt, sondern prinzipiell sofort, möglichst vollständig mit den jeweils gewünschten, i.a. mit für den Empfänger autologen Zellen in vitro besiedelt. Diese Besiedlung kann in einem normalen Kulturmedium erfolgen, dem ein Antibiotikum zugesetzt sein kann. Im Falle der besonders schonenden und schnell verlaufenden Zellablösung durch Komplexbildner kann ggf. eine zusätzliche chemische oder Kryobehandlung erfolgen, wenn dies aus besonderen Gründen notwendig erscheint.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß eine spätere Abstoßungsreaktion erfolgreich bereits dadurch vermieden werden kann, daß eine vollständige, im Einzelfall aus mehrschichtige Besiedlung der weitestgehend zellulärisierten Matrix mit immunotoleranten Zellen, d. h. im allgemeinen mit autologen Zellen des Empfängers, vorgenommen wird. Statt autologer Zellen können auch Zellen anderen Ursprungs verwendet werden, die genetisch so verändert wurden, daß sie für den Transplantat-Empfänger "verträglich" sind, d. h., vom Körper nicht mehr als "fremd" erkannt werden. Auf diese Weise wird dem Empfänger ein Transplantat zur Verfügung gestellt, das an allen zugänglichen Stellen mit autologen Zellen bedeckt ist und daher vom Körper des Empfängers nicht als fremd erkannt werden wird. Dieses Transplantat wird im Körper den üblichen Umbildungsmechanismen unterworfen werden, so daß es auf natürliche Weise remodelliert, erneuert und unter Zelldifferenzierung weiter angepaßt wird. Das Transplantat ist daher bestens vorbereitet, besonders gut einzuwachsen, umgebaut zu werden und ggf. sogar mitzuwachsen. Durch die zellulärisierte Matrix kann eine Vielzahl von Transplantatformen vorgegeben werden. Diese können je nach Anwendungszweck mit verschiedenen autologen Zellen besiedelt werden, und zwar ggf. auch bereichsweise mit unterschiedlichen autologen Zellen.

In Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß in die Matrix Wachstumsfaktoren mit eingebracht werden. Hierbei kann es sich vorzugsweise um für die jeweiligen Zellen spezifische Faktoren, wie HGF, VEGF, FGF, ICGF oder PDGF handeln. Ebenso können auch Matrixfaktoren wie z. B. Fibronectin oder chemotaktische Faktoren eingesetzt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Wachstumsfaktoren bei der Zellbesiedlung eingebracht, indem genetisch modifizierte Zellen verwendet werden, die mit Genen für geeignete Wachstumsfaktoren transformiert wurden, so daß eine wenigstens transiente Expression an Wachstumsfaktor(en) im Zeitraum nach der Transplantation erfolgt. Die temporäre Expression von Wachstumsfaktor(en) kann helfen, die Akzeptanz für das Transplantat zu erhöhen, indem Kapillardilatationsprozesse verstärkt oder ausgelöst werden. Für die Transformation bzw. Transfektion

der Zellen ist eine geeignete Methode auszuwählen. Es kann sich dabei um die Elektroporation, liposomalen Gentransfer, rezeptorvermittelte Endozytose, Proteincoating oder sonst ein geeignetes der bekannten und in der Literatur hinlänglich beschriebenen Verfahren handeln.

Alternativ kann der Wachstumsfaktor auch direkt in die extrazelluläre Matrix eingebracht werden. Dies könnte beispielsweise in mikrokapsulierter Form oder durch geeignete Beschichtung geschehen. Hierdurch sollte der Wachstumsfaktor kurzfristig oder über einen bestimmten Zeitraum ab Implantation retardiert in dem Transplantat freigesetzt werden, so daß zeitweise eine örtlich hohe Konzentration an Wachstumsfaktor erzeugt wird, von der eine Signalwirkung für die Auslösung von Kapillardilatationsprozessen ausgeht.

Das nach dem Verfahren erhaltene Transplantat ist unmittelbar einsetzbar. Lagerung und Transport sollte höchst schonend unter sterilen und nicht dehydrierenden Bedingungen erfolgen. Eine gesonderte De- und Rehydrierung oder sonstige strukturverändernde Maßnahmen empfehlen sich an dem fertigen Transplantat nicht.

Insbesondere bei pareanchymatösen Organen ist die Steuerung, welche Zellen wo aufwachsen sollen, besonders wichtig, damit das Gewebe nicht als fremd erkannt wird. Bei röhrenförmigen Gefäßen und Herzklappen-Transplantaten werden zweckmäßigerweise außen autologe (Myo-)Fibroblasten und innen Endothelzellen verwendet. Die Fibroblasten wachsen mehrschichtig auf und sichern auf diese Weise eine äußerlich intakte Besiedlung mit autologen Zellen, wodurch die Infiltration mit Granulationsgewebe ver- oder zumindest stark gehindert wird. Das Aufbringen der Zellen auf die Außenseite röhrenförmiger Gefäße kann z. B. mit Hilfe viskoser Flüssigkeiten erfolgen. Die Zellen halten sich dadurch besser auf der äußeren Oberfläche, so daß das Einwachsen erleichtert wird. Es kann eine viskose oder sogar gelierfähige Lösung Verwendung finden, die z. B. Collagen, Plasma oder Fibrinogen enthalten kann.

Die Erfindung umfaßt dementsprechend insbesondere auch bioartifizielle empfangerspezifische Transplantate, welche aus bereichsweise mit verschiedenen differenzierten autologen Zellen besiedeltem interstitiellem Bindegewebe bestehen. Anstelle von autologen Zellen, die vorher vom Transplantat-Empfänger gewonnen wurden, können auch quasi-autologe Zellen anderen Ursprungs eingesetzt werden, die genetisch im Hinblick auf den Empfänger verändert wurden. Die Collagen-Matrix des interstitiellen Bindegewebes soll nach Möglichkeit nirgends mehr freiliegen.

Handelt es sich bei dem erfindungsgemäßen Transplantat um ein Haut-Transplantat, ist es vorzugsweise außen (auf der körperabgewandten Seite) mit Keratinozyten und innen (körperseitig) mit Zellen mesodermalen Ursprungs besiedelt. Auch hierbei sind die Oberflächen jeweils vollständig besiedelt, so daß dort überwiegend keine Collagen-Matrix freiliegt, die auf die Dauer verhärtet oder vom Körper als fremd erkannt und deshalb bekämpft werden könnte.

Neben Hauttransplantaten können auch bioartifizielle Herzklappen, Aorten, sonstige Gefäße, Sehnen, Cornea, Knorpel, Knochen, Larynx, Herz, Trachea, Nerven, Minnikus, Diskus intervertebralis oder z. B. Uretren, Urethra und Blase erhalten werden. Letztere können zur Defektdeckung bei Patienten nach Operationen oder bei angeborenen Mißbildungen (z. B. Hypospadie) verwendet werden.

Das polymerisierte, praktisch im nativen Zustand belastene Collagen der Transplantat-Matrix ist von einem dem natürlichen Zustand weitgehend entsprechenden hohen mechanischen Stabilität und Elastizität. Dies ermöglicht, daß das bioartifizielle Transplantat lange, möglicherweise dauerhaft, ohne erneuten operativen Ersatz im Körper des Empfängers verbleiben kann. Darüberhinaus beeinflusst dieses

Collagen die Zelldifferenzierung beim körpereigenen Umbau positiv. Das transplantierte künstliche Organ wird leichter durch "inneren Umbau" körpereigen gemacht, d. h. daß die autologen Zellen die xenogene Matrix innerhalb des Organismus resorbieren und durch neue autologe Matrix ersetzen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Beispielen beschrieben, die Isolationsprotokolle für die die Isolation autologer Zellen und Beispiele für die Durchführung des Verfahrens umfassen.

### Beispiele

#### Herstellung eines bioartificialen Transplantats (allgemein)

##### Gewebevorbereitung (Zellentfernung) mit Trypsin

Das Gewebe wird nach der Entnahme in eine bevorzugt 0,05%ige Trypsinlösung gelegt und dort je nach Wandstärke des Materials z. B. 24, 48, 72 oder 96 Stunden belassen. Alternativ kann statt der Zeit die Konzentration der Trypsinlösung variiert werden. Das Gewebe soll vollständig mit Trypsinlösung bedeckt sein. Die Flüssigkeit wird vorzugsweise ständig durch Rühren in Bewegung gehalten. Die Temperatur sollte zwischen 25 und 37°C liegen.

Insbesondere bei sehr festem Gewebe kann zur Unterstützung der Zellablösung zusätzlich eine Veränderung des pH-Wertes oder eine schonende Ultraschall-Behandlung vorgenommen werden.

##### Gewebevorbereitung (Zellentfernung) mit Komplex- bzw. Chelatbildner

Typischerweise erfolgt die Behandlung des Gewebes durch Immersion in einer 1% EDTA isotonischen Kochsalzlösung bei 4°C für ca. 3 Stunden. Die Behandlungsdauer ist von der Konzentration des Komplexbildners abhängig. Bedarfswise kann auch hier eine Unterstützung der Ablösung, beispielsweise durch Ultraschall, erfolgen.

Nach Abschluß der enzymatischen oder komplexierenden Ablösung von Zellen und antigenen Gewebeteilen wird das Gewebe gespült d. h. mehrfach in Spüllösung eingelegt oder längere Zeit unter Durchfluß von Spüllösung gereinigt. Zum Spülen kann sterile wässrige Lösung wie z. B. NaCl-Lösung, PBS oder andere verwendet werden. Das Spülen kann mehrere Tage dauern und führt zusätzlich zu einer Entfernung von nicht abgespültem Zellkörper.

Wenn die Behandlung mit Komplexbildner bei 4°C vorgenommen wurde, kann auch das Spülen vorteilhaft bei dieser Temperatur erfolgen. Dabei sollte wenigstens ca. 2 Stunden gespült werden.

Falls erforderlich, wird das Gewebe nun in isotonischer Lösung bei Kühlung auf etwa 4°C unter Zusatz von Antibiotika bis zur weiteren Besiedlung steril gelagert.

An dieser Stelle ist eine radioaktive Bestrahlung, beispielsweise eine  $\gamma$ -Sterilisierung, eine Begasung mit Ethylenoxid, eine UV- oder Protonenbestrahlung möglich.

Bei der Isolation der für die Besiedlung zu verwendenden Zellen (z. B. Endothelien glatte Muskelzellen, Fibroblasten) können konventionelle Isolationsprotokolle verwendet werden.

Die Besiedlung erfolgt bei 37°C unter Sterilbedingungen in einem Medium, dem ggf. Wachstumsfaktor (ECGF) zugesetzt sein kann. Für eine vollständige Besiedlung ist es vorteilhaft, daß Kulturmedium ständig zu bewegen und das bewegte Material häufig mit Sauerstoff in Kontakt zu bringen.

Die Besiedlung mit verschiedenartigen Zellen bzw. Zell-

populationen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen.

Ein Vorteil der Erfindung ist, daß die Zellen eine extrazelluläre Matrix in einer weitestgehend der natürlichen Zusammensetzung entsprechenden Form und 3-D-Geometrie vorfinden. Das heißt, daß unter Vermeidung strukturschädlicher Prozesse, wie z. B. Dehydrierung und Rehydrierung, eine dem physiologischen Zustand nahekommende extrazelluläre Matrix für die Zellbesiedlung verwendet werden kann. Diese Matrix kann zeitlich gestaffelt besiedelt werden.

Sofern es sich um Haut handelt, kann das Gewebe zwischenzeitlich auf einem Träger fixiert oder in einem Rahmen eingespannt werden, wonach dann nur die eine Seite mit Zellen bespült wird. Dieses Verfahren kann für die Ober- und Unterseite angewendet werden.

Auch andere Materialien können durch geeignetes Einspannen und/oder Abdichten bestimmter Bereiche gezielt besiedelt werden. Beispielsweise kann von oben mit Keratinozyten und von unten mit Bindegewebszellen und ggf. Zellen von Hautanhangsgebilden besiedelt werden. Alternativ können von oben zeitlich vor der Besiedlung mit Keratinozyten Zellen von Hautanhangsgebilden aufgegeben werden.

Röhrenförmige Transplantate können z. B. zunächst innen im Durchfluß besiedelt werden, dann abgebunden oder eingespannt und außen besiedelt werden.

Bei der Herstellung eines bioartificialen Gefäßes ist es beispielsweise möglich, von außen Myofibroblasten und innerhalb des Lumens humane Endothelien aufzugeben. Ziel ist es, das Einwachsen der Zellen in die Wand des Gefäßes und eine Differenzierung der Zellen am Migrationsziel innerhalb der 3D-Mikroumgebung der extrazellulären Matrix zu erreichen. Diese Einwanderung der Zellen in die Matrix stellt ein wesentliches Merkmal und gleichzeitig einen bedeutenden Vorteil der Erfindung dar.

Die Gefäßbesiedlung von außen kann auch zunächst mit glatten Muskelzellen und danach mit (Myo-)Fibroblasten erfolgen.

Alternativ können innen, in das Lumen, zunächst Myofibroblasten gegeben werden und danach – zeitlich so versetzt, daß sich eine konfluente Myofibroblasten-Zellschicht gebildet hat – ebenfalls in das Lumen Endothelien (in Kulturmedium suspendiert).

Die Gewinnung der Endothelien und glatten Muskelzellen wird entsprechend dem Stand der Technik durchgeführt.

### GEWEBEGEWINNUNG

Vena saphena-Stücke des peripheren Beins von Patienten von ca. 1 cm Länge werden in heparinisiertes Vollblut gegeben und auf diese Weise in das Labor transportiert. Dort erfolgt die Isolation der Endothelien und Myofibroblasten für die weitere Expansion in vitro.

### ISOLATION UND KULTUR VON ENDOTHELIIEN, GLATTEN MUSKELZELLEN UND FIBROBLASTEN

#### 1. Materialien

- HBSS (Clintec, Salvia, Homburg)
- PBS, darin  $Ca^{2+}$  und  $Mg^{2+}$  (Sigma)
- Collagenase A (Boehringer Mannheim)
- M-199 mit L-Glutamin (Sigma), darin 10% (20%) FBS (Sigma)
- gepooltes Humanserum
- 100  $\mu$ l/ml Penicillin (Sigma), 100  $\mu$ g/ml Streptomycin (Sigma)
- 5000  $\mu$ l/ml Heparin (Heparin Novo, Nordisk, Mainz, frei von Konservierungsstoffen)
- 6-well Kulturplatten (Greiner, Frickenhausen,

Deutschland)

– Fibronectin Beschichtung

## 2. Endothelzellen

### 2.1. Beispiel für eine Zellgewinnung

Die Zellgewinnung erfolgt durch Füllen des Segments mit PBS, darin  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  (Sigma) und 0,2% Collagenase A (Boehringer, Mannheim) (alternativ HBSS oder M-199 mit 0,2% Collagenase A), 30 min Inkubieren in HBSS (5%  $\text{CO}_2$ /95% Luft/37°C), evtl. Verlängerung der Inkubationszeit auf 1h, Fuschen mit 50 ml M-199 mit L-Glutamin (Sigma), darin 20% FBS (Sigma) (alternativ: Aufschneiden des Gefäßes und Abschaben der Zellen in einer mit Medium gefüllten Petrischale), Auffangen der Zellen und Zentrifugieren (10 min bei 300 xg), Resuspendieren in 5 ml M-199, darin 20% FKS, 10  $\mu\text{M}$  Penicillin (Sigma), 100  $\mu\text{g}/\text{ml}$  Streptomycin (Sigma), 50  $\mu\text{g}/\text{ml}$  EGF (endothelial growth factor) (Boehringer, Mannheim), 5000  $\mu\text{M}$  Heparin und Kultivieren auf mit 1%iger Gelatine vorbeschichteten 6-well Kulturplatten. Alternativ kann anstelle von Humanserum auch FBS oder NCS verwendet werden.

### 2.2 Kultur von Endothelzellen

Die Kultur kann erfolgen durch: Inkubation bei 5%  $\text{CO}_2$ , 95% Luft bei 37°C unter Mediumwechsel alle 3 Tage. Nach Erreichen der Konfluenz wird zur Ablösung der Zellen eine Lösung mit 0,05% Trypsin und 0,02% EDTA (Sigma) in PBS ohne  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  verwendet (Inkubation 2 bis 3 Minuten bei Raumtemperatur). Alternativ kann eine mechanische Trennung durch "Abschaben" erfolgen. Anschließend wird M-199, darin 20% FBS (zur Trypsininaktivierung) gewaschen. Es wird 10 min bei 300 x g zentrifugiert und anschließend resuspendiert. Schließlich wird in 75cm<sup>2</sup>-Kulturflaschen subkultiviert (1. Passage, 2. Passage in 175cm<sup>2</sup>-Flaschen über ca. 2 Wochen). Diese Zellen werden zur Aussaat auf das Transplantat verwendet.

### 3. Myofibroblasten

#### 3.1. Gewinnung von SMC ("smooth muscle cells" = glatte Muskelzellen) und FB (fibroblasts, Fibroblasten)

Die Gewinnung erfolgt in folgenden Schritten:

- mechanische Abtrennung der Adventitia (FB) vom deendothelialisierten Gefäß
- Zerkleinerung in 1mm-Stücke
- die Stücke werden mit wenig Medium in eine Kulturflasche gegeben
- nach 2–3 Tagen kleben die Gewebeteile auf dem Flaschenboden
- die Kulturflaschen werden täglich für 8 h senkrecht gestellt.

#### 3.2 Kultivierung von SMC und FB

Die Kultivierung erfolgt mit einer Zelldichte von 10000 Zellen/cm<sup>2</sup> bei 37°C, 95% Luft und 5%  $\text{CO}_2$  bei einem Mediumwechsel alle 2 bis 3 Tage bis zur weitgehenden Konfluenz; dann Typisierung und Passagierung.

Zu den Figuren:

**Fig. 1** Aorta des Schweins nach Behandlung (Versuch entsprechend Schritten a) und b) des erfindungsgemäßen Verfahrens). Die Matrix ist aufgelockert und frei von Zellen.

Die Zellentfernung erfolgte hier mit Trypsin.

**Fig. 2** Rasterelektronische Aufnahme der Oberfläche einer mit Trypsin entsprechend der Erfindung azellulisierten Oberfläche einer Aortenwand. Die Matrixfibrillen sind dargestellt.

**Fig. 3** Aorta des Schweins nach Besiedlung mit Endothelien, die einen Monolayer an der oberflächlichen Lumen-seite bilden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines bioartifizierten Transplantats für einen ausgewählten Empfänger, welches die folgenden Schritte umfaßt:

- a) Bereitstellung eines nativen, einer Collagen-Matrix enthaltenden allogenen oder xenogenen Gewebes bzw. Materials,
- b) Entfernung weitgehend aller antigen-reaktiver Zellen aus der Collagen-Matrix durch schonende Zellentfernung und anschließendes Spülen mit steriler wässriger Lösung,
- c) direkte Weiterverarbeitung des zellfrei gemachten, durch die Behandlung unter b) aufgelockerten Materials durch möglichst vollständige Besiedlung mit den jeweils gewünschten autologen Zellen des Empfängers oder mit genetisch modifizierten für den Empfänger angepaßten Zellen, wodurch ein unmittelbar einsatzbereites Transplantat erhalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die schonende Zellentfernung durch eine enzymatische Zellverdauung geschieht, vorzugsweise durch Einlegen des Gewebes bzw. Materials in Trypsin-Lösung.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die schonende Zellentfernung mit Hilfe eines chemisch zellabblösenden Mittels erfolgt, vorzugsweise mit Hilfe eines ionenspezifischen Komplexbildners, wie EDTA oder EGTA.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Material zwischen Schritt a) und b) und/oder zwischen Schritt b) und c) in isotonischer Lösung bei Kühlung auf vorzugsweise 4°C und unter Zusatz von Antibiotika steril zwischenlagert und/oder gegebenenfalls schonend sterilisiert wird, vorzugsweise durch Begasen oder Bestrahlen, z. B. mit  $\gamma$ -Strahlen, UV oder Protonen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Besiedlung des Materials örtlich mit verschiedenen differenzierten autologen Zellen erfolgt, beispielsweise bei röhrenförmigen Gefäßen außen mit (Myo-) Fibroblasten und innen mit Endothelzellen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen der Zellen auf die Außenseite röhrenförmiger Gefäße mit Hilfe viskoser Flüssigkeiten erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in die Matrix zusätzlich wenigstens ein Wachstumsfaktor, Matrixfaktor oder chemotaktischer Faktor eingebracht wird – vorzugsweise mit Hilfe der Zellen bei der Besiedlung, oder vor der Besiedlung durch Einbringen des Wachstumsfaktors in einer geeigneten Form in die extrazelluläre Matrix, oder nach der Besiedlung durch Einbringen des Wachstumsfaktors in die besiedelte Matrix.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß für die Besiedlung genetisch modifizierte Zel-

- len verwendet werden, die mit Wachstumsfaktor(en) codierenden Genen transformiert bzw. transfiziert sind.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das erhaltene Transplantat für Lagerung und Transport steril unter nicht dehydrierenden Bedingungen gelagert wird. 5
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das collagenhaltige allogene oder xenogene Gewebe bzw. Material Herzklappen, Haut, Gefäße, Aorten, Sehnen, Cornea, Knorpel, Knochen, Trachea, Nerven, Miniskus, Diskus intervertebralis, Ureteren, Urethra und Blase umfaßt. 10
11. Bioartifizielles empfangerspezifisches Transplantat, welches aus bereichsweise mit verschiedenen differenzierten autologen oder gentechnisch veränderten quasi-autologen Zellen besiedeltem interstitiellem Bindegewebe besteht, insbesondere erhältlich durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10. 15
12. Transplantat nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um ein parenchymatöses Organ 20 handelt.
13. Transplantat nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um eine bioartifizielle Herzklappe handelt, welche außen mehrschichtig mit (Myo-)Fibroblasten und innen mit Endothelzellen besiedelt ist, wobei die Oberflächen jeweils vollständig besiedelt sind, so daß dort weitgehend keine Collagen-Matrix freiliegt. 25
14. Transplantat nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um ein Hauttransplantat handelt, 30 welches außen (auf der körperabgewandten Seite) mit Keratinozyten und innen (körperseitig) mit Zellen mesodermalen Ursprungs besiedelt ist, wobei die Oberflächen jeweils vollständig besiedelt sind, so daß dort überwiegend keine Collagen-Matrix freiliegt. 35

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65





Fig. 1



Fig. 2

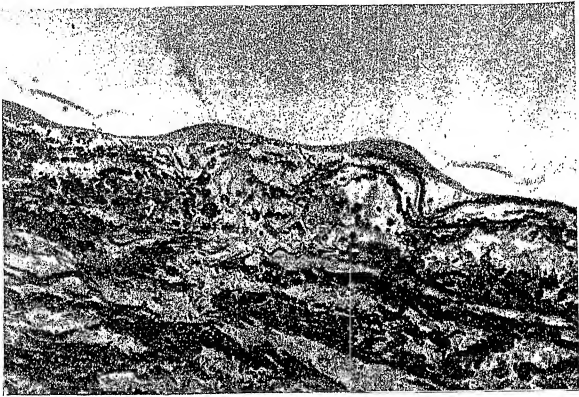


Fig. 3